第 37 卷第 19 期
2017 年 10 月

生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.37,No.19
Oct.,2017

DOI: 10.5846/stxb201607221496

王丹林,郭庆学,王小蓉,梁春平,张远彬.海拔对岷山大熊猫主食竹营养成分和氨基酸含量的影响.生态学报,2017,37(19):6440-6447.

Wang D L, Guo Q X, Wang X R, Liang C P, Zhang Y B.Effects of different altitudes on the nutrient and amino acid contents of bamboo (*Fargesia denudata*), staple food of the giant panda, in Minshan, Sichuan, China.Acta Ecologica Sinica,2017,37(19):6440-6447.

海拔对岷山大熊猫主食竹营养成分和氨基酸含量的影响

王丹林[1,2],郭庆学[1],王小蓉[3],梁春平[3],张远彬[1,*]

1 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所,山地表生过程与生态调控重点实验室,成都 610041

2 中国科学院大学,北京 100049

3 四川王朗国家级自然保护区管理局, 绵阳 622550

摘要:缺苞箭竹(*Fargesia denudata*)是岷山山系大熊猫的主食竹,其可食性在大熊猫食物营养质量评价中具有重要意义。为揭示海拔梯度上温差对大熊猫主食竹营养成分及其含量的影响,以自然生长在岷山山系核心区四川王朗国家级自然保护区不同海拔(2600、2850、3100 m)的缺苞箭竹为对象,对其笋、秆和叶的营养成分和氨基酸含量进行了研究。结果表明:(1)同一海拔缺苞箭竹的粗蛋白和粗脂肪含量均表现为叶>笋>秆,且笋、秆和叶的营养成分含量有显著差异($P<0.05$);(2)粗蛋白和氨基酸总量随海拔升高而显著增加($P<0.05$),而对粗脂肪和粗纤维的影响不显著($P>0.05$);(3)除笋中苏氨酸、甘氨酸、半胱氨酸,秆中丝氨酸、蛋氨酸以及叶中半胱氨酸外,海拔对其余氨基酸含量均有显著影响($P<0.05$);(4)海拔对粗蛋白/粗脂肪、粗蛋白/粗纤维有显著影响($P<0.05$),在笋和秆中表现为海拔 3100 m 最高,而海拔对纤维素/粗纤维、粗脂肪/粗纤维的影响不显著($P>0.05$)。缺苞箭竹叶、笋的营养成分含量明显高于秆;高海拔有利于缺苞箭竹各器官粗蛋白和氨基酸的积累,不利于粗纤维的积累,这可能使大熊猫的取食选择发生改变,更倾向于取食高海拔的笋和叶。

关键词:缺苞箭竹;海拔;营养成分;氨基酸;大熊猫

Effects of different altitudes on the nutrient and amino acid contents of bamboo (*Fargesia denudata*), staple food of the giant panda, in Minshan, Sichuan, China

WANG Danlin[1,2], GUO Qingxue[1], WANG Xiaorong[3], LIANG Chunping[3], ZHANG Yuanbin[1,*]

1 *Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu* 610041, *China*

2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*

3 *Administration Bureau of Wanglang National Nature Reserve, Mianyang* 622550, *China*

Abstract: Nutritional components of plant species (e.g., contents of crude protein, crude fat, and amino acids), as well as the contents of fiber that influence animals' food digestibility, collectively determine animal food preferences. Animals would prefer to feed on leaves or stems with higher contents of crude protein, crude fat, and amino acids and a lower content of fiber. Many studies have demonstrated that nutritional components or fiber contents are differently impacted by various environmental factors. It is possible that differences in the nutrient or fiber content of vegetation under different conditions would potentially affect animal distribution through food choice. Dwarf-bamboo species dominate the underground

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31270650)

收稿日期:2016-07-22; **网络出版日期**:2017-05-27

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhangyb@ imde.ac.cn

layer of subalpine forests. However, the distribution or growth of these bamboo species is predicted to be markedly affected by global warming. As the main food source for the panda, changes in temperature may influence their preference for bamboo by altering bamboo nutrition. Although the temperature difference along vertical altitudinal gradients is obvious, there have been few studies focusing on the effects of different temperatures on bamboo due to altitudinal gradients, which could potentially influence panda food preference and distribution. We designed an *in situ* experiment to examine the effects of different altitudes on the contents of nutrients, such as crude protein and amino acids, and parameters related to animal food digestibility, such as fiber content, of dwarf bamboo (*Fargesia denudate*) in Wanglang Nature Reserve in the northwest Sichuan Province, China. Samples (leaf, shoot, and culm) of *F. denudata* were selected from three altitudes (2600 m, 2850 m, and 3100 m) to study differences that may be attributable to differences in altitude. The results indicated that the nutrient compositions and amino acid contents of different parts of *F. denudata* showed different change patterns among the different altitudes. Our main results were as follows. (1) At the same altitude, nutrients of different *F. denudata* tissues (leaf, shoot, and culm) were significantly different from each other. For instance, the crude protein and crude fat contents of the leaf were the highest, whereas those of the stem were the lowest. In the shoot, these parameters were in the middle range. (2) Most interestingly, the amount of crude protein and total amino acids were markedly influenced by the altitudinal gradient, being significantly higher at 3100 m than at 2600 m. For example, the contents of crude protein and total amino acids of bamboo shoots were highest at 3100 m. However, crude fat and crude fiber showed no significant differences among the different altitudes. (3) In addition to the threonine, glycine, and cysteine in shoots, serine and methionine in culms, and cysteine in leaves, contents of the other amino acids were significantly affected by the altitudinal gradient. For example, the histidine content in shoots increased with increasing altitude. Altitude had significant effects on the ratios of crude protein/crude fat and crude protein/crude fiber; however, no significant effects were observed on the ratios of cellulose/crude fiber and crude fat/crude fiber. Our results demonstrate that at higher altitude, *F. denudata* accumulates higher contents of crude protein and total amino acids. Warmer climates would probably affect the distribution of *F. denudata* and characters related to panda food preference, such as crude protein content, which may, to a certain extent, determine panda movement or migration to higher altitudes to feed on relatively nutritious food.

Key Words: *Fargesia denudata*; altitude; nutrient; amino acid; giant panda

全球变暖背景下植物对环境的响应机制是当前生态学家关注的重要科学问题之一[1]。高海拔地区植物对气候变暖的响应极其敏感,海拔通过影响其他生态因子,特别是温度[2],进而对植物分布、生长、生物量分配以及生理代谢产生极大影响[3]。大量研究表明,在过去几十年,植物因气候变暖在全球出现明显的低纬度向高纬度[4]、低海拔向高海拔迁移[5-7];Kudo 等[8]在日本北部亦观察到小径竹(*Sasa kurilensis*)向高海拔迁移。小径竹向高海拔的迁移必然导致其原有生境质量的变化,进而影响以其为食物的动物的生存和繁衍。基于CART(classification and regression tree)模型[9]和最大熵(MAXENT)模型[10]的模拟也表明,未来气候变化情景下大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*)的分布范围将缩小、适宜栖息地随年均气温的增加而减少。因此,气候变化(特别是温度升高)将是大熊猫未来生存和繁衍的主要威胁因素之一[11-13]。

大熊猫选择食物以营养成分和消化难易程度为依据[14-15]:营养成分含量越高,消化越容易的竹种和部位,大熊猫越喜欢采食。竹子中的木质素(木质素是粗纤维中几乎无法消化的物质)能增加植物的硬度和粗糙度,影响胃肠道的消化吸收,故木质素含量越高,大熊猫采食越少[15]。一般地,植物的粗纤维和营养成分因生境、植物种类和营养成分类别而异。研究表明,桑叶(*Morus alba*)在增温条件下粗纤维含量显著降低[16],而增温却有利于矮蒿草(*Kobresia humilis*)中纤维素含量的积累[17]。低温条件下,小麦 (*Triticum aestivum*)、福建柏苗 (*Fokienia hodgirtsii*)和大叶相思 (*Acacia auriculaeformis*)叶片中可溶性糖和游离氨基酸积累增加;高海拔不利于烟草(*Nicotiana tabacum*)和大麦 (*Hordeum vulgare*)对蛋白质、氮和氨基酸的积累;而高海拔有利于蒿

草(*Kobresia humilis*)和谷子(*Setaria italic*)积累蛋白质和氨基酸,但不利于积累粗脂肪[18-21]。因此,阐明大熊猫主食竹对海拔的响应对大熊猫的生存繁衍和保护具有重要科学意义。

缺苞箭竹主要分布于岷山山系海拔1900—3200 m之间的地段,是岷山山系林下最重要的优势片层之一,也是该山系大熊猫重要的主食竹种[22]。本研究以生长于岷山山系大熊猫核心区四川王朗国家级自然保护区不同海拔的缺苞箭竹为对象,通过对生长在不同海拔段的缺苞箭竹笋、秆和叶中营养成分和氨基酸组分的分析,拟回答以下科学问题:海拔是否会导致缺苞箭竹营养成分含量的变化?(2)缺苞箭竹氨基酸种类及其含量对海拔的响应情况如何?

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于四川省平武县境内的王朗国家级自然保护区,地理位置为103°55′—104°10′E, 32°49′—33°02′N,海拔2300—4980 m,总面积322.97 km²。该区域属于丹巴-松潘半湿润气候,由于受季风的影响,形成了明显的干湿季节。干季(当年11月至次年4月)表现为日照强烈、降水少、气候寒冷、空气干燥的特点。湿季(5—10月)的气候特征为降雨集中、多云雾、日照少、气候暖湿。年均温2.9℃,7月平均气温12.7℃,1月平均气温-6.1℃,极端高温26.2℃,极端低温-17.8℃,>10℃的积温为1056.5℃。年降水量859.9 m,降水日数195 d,集中在5—8月。

保护区内相对高差2500 m左右。植物垂直带谱为针阔混交林或落叶阔叶林(2300—2600 m)、紫果云杉-方枝柏林和岷江冷杉林(2600—3500 m)、亚高山灌丛草甸(3500—4400 m)、高山流石滩植被(4400—4900 m)、海拔4900 m以上为高山荒漠带。部分地段分布有少量的河阶地沙棘林及流石滩落叶松林。

1.2 试验材料

缺苞箭竹主要生长于四川王朗国家级自然保护区海拔1900—3200 m的针阔混交林和暗针叶林下。缺苞箭竹是禾本科箭竹属的克隆植物。秆丛生或近散生,高3—5 m,直径0.6—1.3 cm,地下茎为合轴型,由秆柄和秆基两部分组成,节间长为15—18 cm[22]。缺苞箭竹生长期为4—9月,10月中旬停止生长。3—6月进行抽枝发叶,6月中旬到8月下旬是幼苗生长期,7月以后幼苗进入分蘖期。6月上旬到9月上旬为出根期,9月缺苞箭竹出根基本结束[23]。

1.3 采样和测试方法

2015年8月底,在海拔2600、2850、3100 m地段选择土壤、乔木树种类型、坡度、坡向、郁闭度等基本一致的采样点各5个。在每个采样点上随机采集笋和1年生克隆分株各10株,并取笋、秆和叶鲜样各1.0 kg作为样品。样品在105℃下杀青30 min后于70℃烘至恒量、研磨过60目筛保存于低温冰箱中待测。

营养成分和氨基酸分别采用以下方法测定[24]:粗蛋白采用凯氏蒸馏法测定全氮然后乘以6.25,采用KDY-9820定氮仪(北京天成利通);粗脂肪采用索氏抽提法;粗纤维采用酸洗涤重量法;纤维素采用72%浓硫酸水解法;氨基酸总量采用水合茚三酮比色法,采用722型可见光分光光度计(上海菁华);氨基酸组分利用L-8800全自动氨基酸分析仪(日立)测定。

1.4 数据处理与统计分析

本文数据分析采用SPSS 22.0统计软件完成。分别对笋、秆和叶中的营养成分随海拔的变化、同一海拔不同组分的营养成分变化作单因素方差分析(One-way ANOVA)和Tukey检验,所有数据均用平均值±标准误表示,显著性水平设置为$\alpha=0.05$。

2 结果与分析

2.1 营养成分

2.1.1 粗蛋白

在同一海拔段,缺苞箭竹的笋、秆、叶中粗蛋白含量有显著差异($P<0.05$,图1)。其中,叶的粗蛋白含量

最高,秆的粗蛋白含量最低(图 1)。在海拔 3100 m,笋的粗蛋白含量显著高于海拔 2850、2600 m 笋的粗蛋白含量($P<0.05$,图 1),海拔 3100 m 秆的粗蛋白含量最高($P<0.05$,图 1),3100 m、海拔 2850 m 的叶粗蛋白含量显著高于海拔 2600 m 的叶粗蛋白含量($P<0.05$,图 1)。

2.1.2　粗脂肪

在同一海拔段,缺苞箭竹的笋、秆、叶中粗脂肪含量有显著差异($P<0.05$,图 1)。其中,叶的粗脂肪含量最高,秆的粗脂肪含量最低(图 1)。海拔对笋和叶的粗脂肪含量没有显著影响($P>0.05$,图 1),但海拔 2850、2600 m 秆的粗脂肪含量显著高于海拔 3100 m 秆的粗脂肪含量($P<0.05$,图 1)。

2.1.3　粗纤维

生长在海拔 2600 m 区域的缺苞箭竹秆的粗纤维含量显著高于叶的粗纤维含量($P<0.05$,图 1),而笋和秆的粗纤维含量没有显著差异($P>0.05$,图 1)。生长在海拔 2850 m 和 3100 m 区域的缺苞箭竹秆的粗纤维含量显著高于笋和叶的粗纤维含量($P<0.05$,图 1),而笋和叶的粗纤维含量没有显著差异($P>0.05$,图 1)。海拔对笋的粗纤维含量有显著影响($P<0.05$,图 1),在海拔 2600 m 最高,而对秆和叶的粗纤维含量没有显著影响($P>0.05$,图 1)。

2.1.4　纤维素

生长在海拔 2600 m 区域的缺苞箭竹笋和秆的纤维素含量显著高于叶的纤维素含量($P<0.05$,图 1),而笋和秆的纤维素含量没有显著差异($P>0.05$,图 1)。生长在海拔 2850 m 和 3100 m 区域的缺苞箭竹秆的纤维素含量显著高于笋和叶的纤维素含量($P<0.05$,图 1),且笋的纤维素含量又显著高于叶的纤维素含量($P<0.05$,图 1)。海拔对笋的纤维素含量有显著影响($P<0.05$,图 1),海拔 2850 m 秆的纤维素含量显著高于海拔 2600 m 和 3100 m 秆的纤维素含量($P<0.05$,图 1),海拔 2600 m 叶片的纤维素含量显著低于海拔 2850 m、3100 m 叶的纤维素含量($P<0.05$,图 1)。

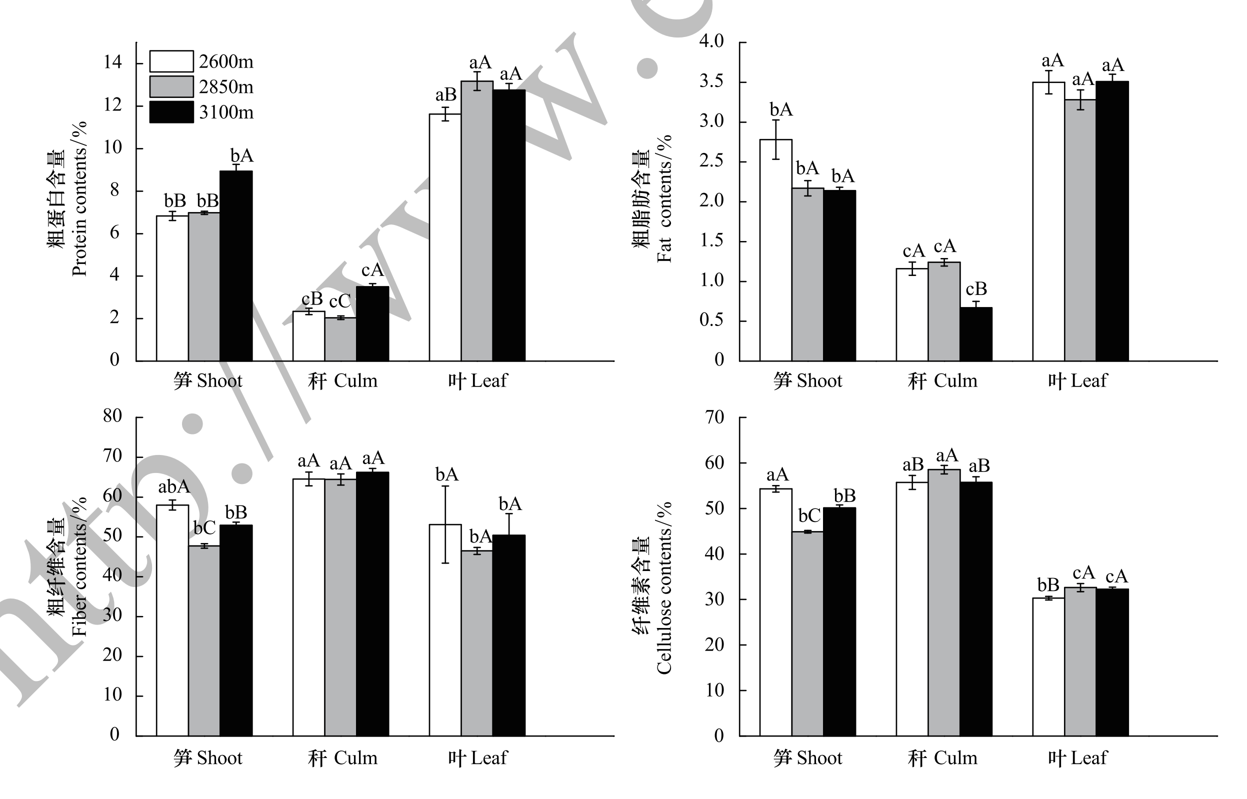


图 1　缺苞箭竹的笋、秆和叶中的营养成分含量差异及其海拔效应

Fig.1　The differences of nutrient component in the shoots, culms and leaves and the altitude effects on the shoots, culms and leaves

a、b、c 表示同一海拔的某种营养成分含量在笋、秆和叶中的差异;A、B、C 海拔对笋、秆和叶中某种营养成分含量的影响

2.1.5 营养成分的比值

在海拔 3100 m 笋中粗蛋白/粗脂肪显著高于海拔 2850 m、2600 m 笋的粗蛋白/粗脂肪含量（P <0.05，图 2），海拔 3100 m 秆的粗蛋白/粗脂肪显著高于海拔 2850 m 粗蛋白/粗脂肪含量。叶中粗蛋白/粗脂肪含量在海拔 2850 m 最高。海拔对笋和叶中纤维素/粗纤维含量没有显著影响（P >0.05，图 2），在秆中纤维素/粗纤维含量在海拔 2850 m 最高。海拔对笋和秆中粗蛋白/粗纤维含量有显著影响（P <0.05，图 2），均表现为海拔 3100 m 最高，而海拔对叶中粗蛋白/粗纤维含量没有显著影响（P >0.05，图 2）。在海拔 3100 m 秆的粗脂肪/粗纤维含量最低（图 2）。

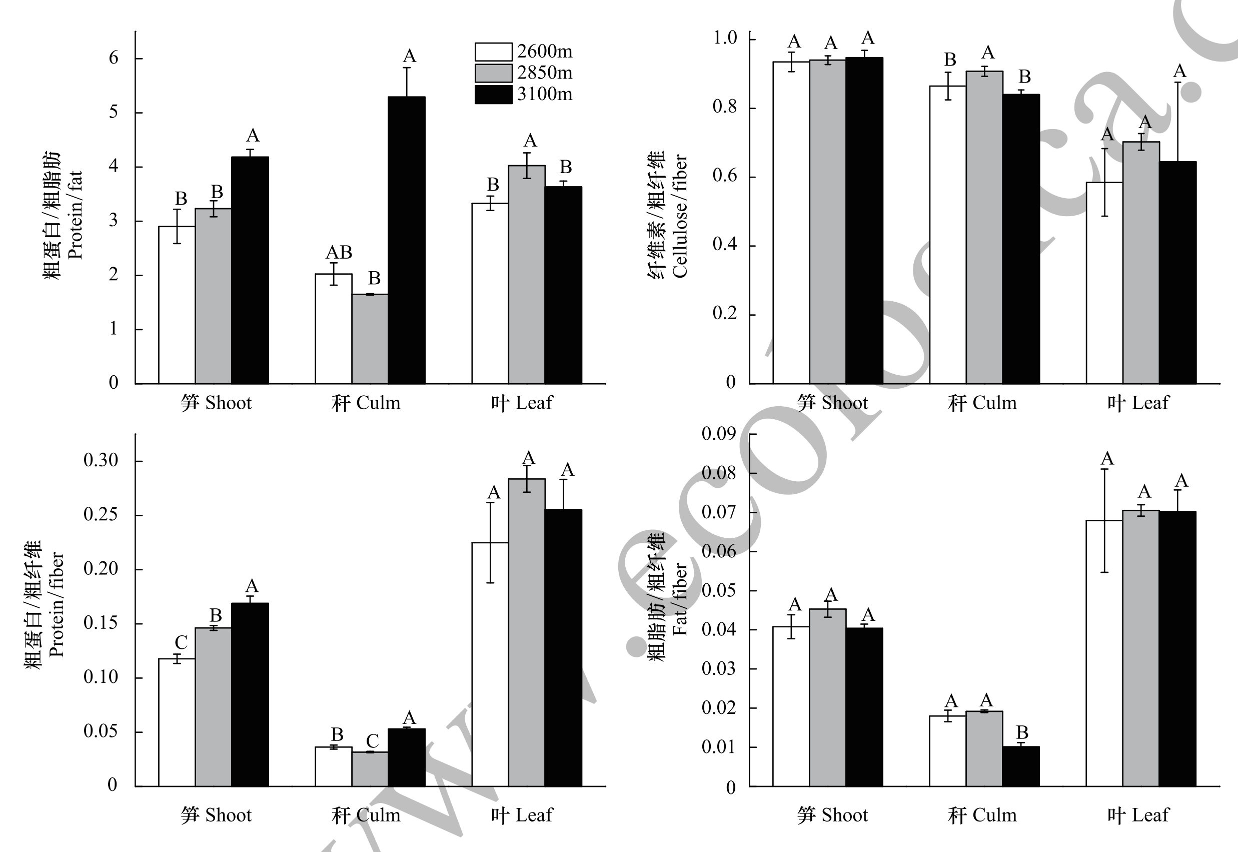


图 2 缺苞箭竹的笋、秆和叶中的营养成分比值差异及其海拔效应

Fig.2 The differences of nutrient ratio in the shoots, culms and leaves and the altitude effects on the shoots, culms and leaves

a、b、c 表示同一海拔的营养成分比值在笋、秆和叶中的差异；A、B、C 海拔对笋、秆和叶营养成分比值的影响

2.2 氨基酸

2.2.1 氨基酸总量

在不同海拔段，氨基酸总量均表现为笋>叶>秆（图 3）。海拔对笋的氨基酸总量有显著影响（P <0.05，图 3），其中海拔 3100 m 笋的氨基酸总量最高，其次是海拔 2600 m 的笋氨基酸总量，海拔 2850 m 的笋氨基酸总量最低。海拔 3100 m 秆的氨基酸总量显著高于海拔 2850、2600 m 的秆氨基酸总量（P <0.05，图 3），而海拔 2850、2600 m 的秆氨基酸总量没有显著差异（P >0.05，图 3）。海拔 2600 m 叶氨基酸总量显著高于海拔 2850、3100 m 的叶氨基酸总量，而海拔 2850 m 的叶氨基酸总量又显著高于海拔 3100 m 的叶氨基酸总量（P < 0.05，图 3）。

2.2.2 氨基酸种类

缺苞箭竹的笋、秆和叶中均有 17 种天然氨基酸，其中含有 7 种必需氨基酸，10 种非必需氨基酸（表 1）。在同一海拔段，笋、秆和叶的各种氨基酸含量均有显著差异（P <0.05），除半胱氨酸外，其余氨基酸含量均是叶>笋>秆（表 1）。笋、秆和叶中氨基酸含量排在前四位的是天门冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸和亮氨酸，含量排在

后四位的是半胱氨酸、蛋氨酸、酪氨酸和组氨酸(表 1)。

海拔对 17 种氨基酸含量的影响比较复杂多变(表 1)。本文以必需氨基酸和非必需氨基酸含量对海拔的响应给予描述:

(1)海拔对叶中赖氨酸、苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和苯丙氨酸含量影响显著,除赖氨酸外,均表现为海拔 2850 m>海拔 3100 m>海拔 2600 m;笋中,除苏氨酸外,海拔对其余六种必需氨基酸均有显著影响 ($P<0.05$);秆中,除蛋氨酸外,海拔对必需氨基酸含量有显著影响,表现为海拔 3100 m 含量最高。

(2)除甘氨酸和半胱氨酸外,海拔对笋中的非必需氨基酸含量影响均显著 ($P<0.05$),其中天门冬氨酸、丙氨酸、酪氨酸、组氨酸、精氨酸和脯氨酸均在海拔 3100 m 含量最高;秆中除丝氨酸,海拔对其他非必需氨基酸含量均有显著影响 ($P<0.05$),其中天门冬氨酸、甘氨酸、半胱氨酸、酪氨酸、组氨酸和精氨酸含量均在海拔 3100 m 最高;叶中除半胱氨酸外,其他非必需氨基酸含量均受海拔影响显著 ($P<0.05$),其中除半胱氨酸外,其他非必需氨基酸含量均在海拔 2850 m 最高。

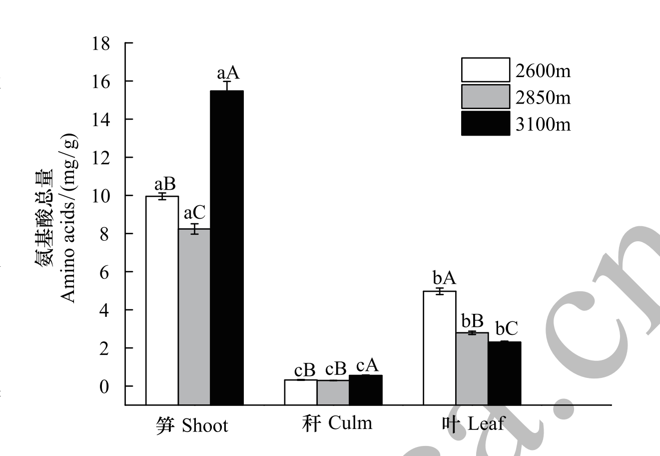


图 3　缺苞箭竹的笋、秆和叶中的氨基酸总量差异及其海拔效应

Fig.3　The differences of total amino acids content in the shoots, culms and leaves and the altitude effects on the shoots, culms and leaves

a、b、c 表示同一海拔的氨基酸总量在笋、秆和叶中的差异;A、B、C 海拔对笋、秆和叶氨基酸总量的影响

表 1　缺苞箭竹的笋、秆和叶中的氨基酸种类及其含量/(mg/g)

Table 1　The amino acids and their contents of bamboo shoots, culms and leaves in *Fargesia denudata*

氨基酸种类	2600 m			2850 m			3100 m		
	笋 Shoot	秆 Culm	叶 Leaf	笋 Shoot	秆 Culm	叶 Leaf	笋 Shoot	秆 Culm	叶 Leaf
赖氨酸 Lys *	2.39±0.02bB	0.76±0.02cB	5.92±0.05aA	2.30±0.03bC	0.66±0.01cC	5.70±0.01aB	2.54±0.01bA	0.99±0.01cA	5.83±0.05aA
苯丙氨酸 Phe *	1.84±0.04bC	0.73±0.01cB	5.45±0.03aC	2.24±0.01bA	0.72±0.01cB	7.28±0.04aA	2.15±0.05bB	0.93±0.01cA	6.11±0.04aB
亮氨酸 Leu *	3.04±0.01bB	1.06±0.02cB	8.12±0.08aC	3.29±0.11bA	0.95±0.01cC	10.98±0.09aA	3.28±0.04bA	1.34±0.05cA	9.24±0.05aB
异亮氨酸 Ile *	1.76±0.09bB	0.58±0.01cB	4.29±0.04aC	1.95±0.07bA	0.51±0.01cC	5.63±0.09aA	2.02±0.04bA	0.74±0.02cA	4.76±0.07aB
蛋氨酸 Met *	0.22±0.04bB	0.06±0.00cA	0.52±0.04aC	0.41±0.01bA	0.06±0.00cA	2.25±0.06aA	0.24±0.03bB	0.05±0.00cA	0.72±0.11aB
缬氨酸 Val *	2.51±0.08bB	0.85±0.08cB	5.57±0.07aC	2.77±0.10bA	0.74±0.08cB	7.15±0.08aA	2.97±0.11bA	1.03±0.03cA	6.07±0.08aB
苏氨酸 Thr *	1.98±0.11bA	0.68±0.08cB	4.56±0.12aC	1.98±0.10bA	0.61±0.09cB	5.80±0.09aA	2.18±0.07bA	0.86±0.10cA	4.87±0.12aB
天门冬氨酸 Asp	5.83±0.01bC	1.38±0.04cB	9.76±0.08aB	6.16±0.09bB	1.14±0.08cC	11.96±0.18aA	9.22±0.18bA	2.08±0.12cA	10.05±0.43aB
丝氨酸 Ser	2.66±0.10bA	0.77±0.08cA	5.04±0.09aB	2.32±0.14bB	0.61±0.15cA	5.46±0.09aA	2.92±0.09bA	0.81±0.06cA	4.59±0.08aC
谷氨酸 Glu	8.87±0.13bA	2.07±0.08cA	10.42±0.14aB	5.35±0.10bB	1.26±0.07cB	12.74±0.14aA	9.11±0.08bA	2.25±0.12cA	10.45±0.07aB
甘氨酸 Gly	2.10±0.13bA	0.73±0.08cB	5.33±0.09aC	2.25±0.13bA	0.62±0.05cC	6.99±0.13aA	2.25±0.09bA	0.86±0.12cA	5.86±0.12aB
丙氨酸 Ala	3.27±0.07bB	1.12±0.12cA	6.54±0.08aC	3.09±0.11bB	0.80±0.14cB	8.47±0.11aA	3.56±0.12bA	1.27±0.11cA	7.16±0.12aB
半胱氨酸 Cys	0.23±0.08bA	0.08±0.01bB	0.37±0.08aA	0.23±0.05bA	0.06±0.00cB	0.41±0.04aA	0.25±0.07bA	0.11±0.02cA	0.35±0.03aA
酪氨酸 Tyr	0.79±0.01bB	0.26±0.02cB	2.61±0.02aC	0.87±0.11bA	0.21±0.01cC	3.53±0.01aA	0.87±0.01bA	0.34±0.00cA	2.84±0.04aB
组氨酸 His	0.86±0.01bC	0.29±0.00cB	2.18±0.02aB	0.89±0.01bB	0.26±0.01cC	2.59±0.01aA	0.96±0.00bA	0.36±0.01cA	2.16±0.01aB
精氨酸 Arg	2.37±0.01bB	0.52±0.00cB	4.90±0.01aC	1.97±0.09bC	0.42±0.01cC	6.83±0.04aA	2.64±0.02bA	0.89±0.01cA	5.71±0.20aB
脯氨酸 Pro	2.00±0.04bB	1.00±0.09cA	5.18±0.05aC	2.23±0.01bA	0.56±0.00cB	6.78±0.05aA	2.18±0.01bA	1.13±0.02cA	5.80±0.02aB

a、b、c 表示同一海拔的某种氨基酸含量在笋、秆和叶中的差异;A、B、C 表示同一部位的某种氨基酸含量在不同海拔上的差异;带 * 的表示必需氨基酸,其余表示非必需氨基酸;各氨基酸全称如下:赖氨酸(Lysine),苯丙氨酸(Phenylalanine),亮氨酸(Leucine),异亮氨酸(Isoleucine),蛋氨酸(Methionine),缬氨酸(Valine),苏氨酸(Threonine),天门冬氨酸(Aspartic acid), 丝氨酸(Serine),谷氨酸(Glutamic acid),甘氨酸(Glycine),丙氨酸(Alanine),半胱氨酸(Cysteine),酪氨酸(Tyrosine),组氨酸(Histidine),精氨酸(Arginine),脯氨酸 (Proline)

3 讨论

3.1 缺苞箭竹营养成分与氨基酸含量对海拔的响应

海拔可以影响植物体的生理代谢、有机物的合成,进而影响其营养成分的含量[2]。植物生长发育及物质代谢对温度的响应取决于不同物种和所处的环境。本研究表明,海拔升高有利于缺苞箭竹粗蛋白的积累,这与古世禄等[25]对谷子(*Setaria italica*)蛋白质、韩发等[26]对矮嵩草蛋白质的研究结果一致。因为高海拔地区气候凉爽、阳光充足、昼夜温差较大,适宜的温度有利于粗蛋白的合成[21]。本研究中,海拔对粗脂肪的影响不显著,这与艾丹等[27]对牧草粗脂肪、龚顺良等[28]对玉米粗脂肪的研究结果一致。其原因可能是粗脂肪积累的主导因子是日照长短,而本研究中海拔梯度差异并不大,其日照长短也没有显著性差异[21]。本研究表明,笋和秆中氨基酸总量在海拔 3100 m 最高,这与古世禄等[25]对谷子氨基酸、曾羽等[29]对菊花(*Chrysanthemum morifolium*)氨基酸总量的研究结果一致。粗蛋白和氨基酸是植物耐寒性的重要指标,在高海拔低温环境中,植物会积累大量的粗蛋白和氨基酸以利于抗寒[30]。刁品春[31]研究表明,叶中游离氨基酸含量低于茎和根,而叶中高海拔处粗蛋白的含量较高,可能是因为低温诱导使植物生成其他含氮物质,造成粗蛋白含量增加[32-34]。缺苞箭竹笋、秆、叶中各种氨基酸含量对海拔的响应无统一趋势,这说明海拔对植物体内的生理活动,如氮代谢的影响比较复杂。以谷氨酸为例,在氨的同化过程中,海拔对谷氨酸影响的差异(表 1),可能导致谷氨酰胺合成酶途径(GS)、谷氨酸合酶途径(GOGAT)以及谷氨酸脱氢酶(GDH)途径对谷氨酸和 α-酮戊二酸的代谢和利用的差异[35]。

3.2 植物营养成分和氨基酸对动物取食的作用

动物的取食主要以营养成分和消化率两个方面为依据[14-15]。一般以粗蛋白、粗脂肪和氨基酸含量作为营养成分的标志,而粗纤维则是影响消化率的重要指标[15,20]。粗蛋白、粗脂肪和氨基酸含量越高,粗纤维含量越低的植物种类和部位越受动物喜爱。邢廷杰等[36]研究表明,纤维素含量对动物取食的影响较大,含量越高,取食越少;而粗蛋白含量高的食物更受东方田鼠(*Microtus fortis*) 的青睐。氨基酸是蛋白质的基本物质,氨基酸含量越高,动物对蛋白质的利用率越高,摄入体内的营养越多[37],如:谷氨酸可为生菜(*Lactuca sativa*)提供丰富的氮元素,促进体内可溶性蛋白的合成[34],亮氨酸不仅促进蛋白质积累,还能抑制蛋白质分解[38],且必需氨基酸是哺乳动物自身不能合成或者合成量较少,须从食物中摄取的一类物质[39]。植物营养成分的种类及含量影响着动物的取食选择[40]。大熊猫的食物 99%来源于小径竹[41],竹子中高含量的蛋白质和氨基酸对大熊猫维持正常的物质代谢、功能及生长有重要作用。

本研究表明,缺苞箭竹粗蛋白含量为叶>笋>秆,氨基酸总量为叶>秆,而叶中粗纤维含量显著低于秆。这与胡锦矗等[42]的研究结果一致。竹笋和竹叶的蛋白质含量较高,纤维素少,在一年中大熊猫采食竹叶的时间最长,比例最大,而竹秆的纤维素含量较高,蛋白质含量较低,大熊猫很少取食或不取食。大熊猫取食与川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)[43]、林麝(*Moschus berezovskii*)[44]和白头叶猴(*Trachypithecus leucocephalus*)[45]的取食选择相同。本研究表明,在海拔梯度上,粗蛋白含量在 3100 m 最高,笋和秆中氨基酸总量也在 3100 m 最高,而粗纤维含量在海拔 2600 m 最高。这与 Guo 等[46]对蒿草 (*Kobresia littledalei*) 的研究结果一致。高海拔植物具有应对高寒气候的特殊策略,其倾向于积累更多的营养物质,如通过合成特定的蛋白质以抵御寒冷。

高海拔有利于缺苞箭竹粗蛋白和氨基酸含量的累积,尽管升温会导致缺苞箭竹在海拔上的迁移,但这种迁移就粗蛋白质和氨基酸而言是有利的。目前已有证据表明相当数量大熊猫的活动范围在近几十年来明显向高海拔地段移动[10],这恰好与高海拔地段缺苞箭竹营养成分和氨基酸含量较高相吻合。因此,本研究提供了山地食草动物不会因全球变暖栖息地极度恶化而致危的证据之一,但随着大熊猫往高海拔的迁移,其生境将可能比低海拔地段更严酷。

参考文献(References):

[1] 王元元, 齐丹卉, 刘文胜, 梁文斌. 玉龙雪山不同海拔草血竭叶片形态与解剖结构的比较研究. 西北植物学报, 2016, 36(1): 70-77.

[2] Körner C. Alpine Plant Life-Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2003:31-37.
[3] 吕佳佳, 吴建国. 气候变化对植物及植被分布的影响研究进展. 环境科学与技术, 2009, 32(6): 85-95.
[4] Pauli H, Gottfried M, Grabherr G. Effects of climate change on mountain ecosystems-upward shifting of alpine plants. World resource review, 1996, 8(3): 382-390.
[5] 曾小平, 赵平, 孙谷畴. 气候变暖对陆生植物的影响. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2445-2450.
[6] Gaur N U, Raturi G P, Bhatt A B. Quantitative response of vegetation in glacial moraine of central Himalaya. Environmentalist, 2003, 23(3): 237-247.
[7] 陈建国, 杨扬, 孙航. 高山植物对全球气候变暖的响应研究进展. 应用与环境生物学报, 2011, 17(3): 435-446.
[8] Kudo Q, Amagai Y, Hoshino B, Kaneko M. Invasion of dwarf bamboo into alpine snow-meadows in northern Japan: pattern of expansion and impact on species diversity. Ecology and Evolution, 2011, 1(1): 85-96.
[9] 吴建国, 吕佳佳. 气候变化对大熊猫分布的潜在影响. 环境科学与技术, 2009, 32(12): 168-177.
[10] 刘艳萍. 气候变化对岷山大熊猫及栖息地的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
[11] 王锐婷, 范雄, 刘庆, 陈文秀. 气候变化对四川大熊猫栖息地的影响. 高原山地气象研究, 2010, 30(4): 57-60.
[12] 卞萌, 汪铁军, 刘艳芳, 费腾, Skidmore A K. 用间接遥感方法探测大熊猫栖息地竹林分布. 生态学报, 2007, 27(11): 4824-4831.
[13] 肖燚, 欧阳志云, 朱春全, 赵景柱, 何国金, 王效科. 岷山地区大熊猫生境评价与保护对策研究. 生态学报, 2004, 24(7): 1373-1379.
[14] 孙雪, 林达, 张庆, 贾竞波. 大熊猫取食竹种纤维类物质分析. 野生动物学报, 2015, 36(2): 151-156.
[15] 何东阳. 大熊猫取食竹选择、消化率及营养和能量对策的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
[16] 曾贞, 郇慧慧, 刘刚, 肖娟, 黄尤优, 胥晓, 董廷发. 增温和升高 CO_2 浓度对桑树幼苗的生长和叶片品质的影响. 应用生态学报, 2016, 27(8): 2445-2451.
[17] 杨月娟, 周华坤, 姚步青, 王文颖, 董世魁, 余欣超, 赵新全, 张灏. 长期模拟增温对矮嵩草草甸土壤理化性质与植物化学成分的影响. 生态学杂志, 2015, 34(3): 781-789.
[18] 何开跃, 李晓储, 黄利斌, 杨宗武, 孙玉珍. 冷冻胁迫对福建柏苗可溶性糖和丙二醛(MDA)含量的影响. 江苏林业科技, 2000, 27(6): 6-8.
[19] 赵志琛, 林达, 孙雪, 张贵权, 贾竞波. 大熊猫弃食竹秆皮的化学原因. 四川动物, 2016, 35(2): 161-166.
[20] 郑云普, 王贺新, 娄鑫, 杨庆朋, 徐明. 木本植物非结构性碳水化合物变化及其影响因子研究进展. 应用生态学报, 2014, 25(4): 1188-1196.
[21] 张宇. 不同海拔高度对大叶碎米荠营养成分和生理特性影响的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2006.
[22] 易同培, 史军义, 马丽莎. 中国竹类图志. 北京: 科学出版社, 2008:453.
[23] 刘兴良, 向性明. 缺苞箭竹生物学物侯学特征的初步研究. 四川林业科技, 1994, 15(4): 24-32.
[24] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000:257-350.
[25] 古世禄, 古晓红, 耿聚平. 不同土壤与海拔高度对谷子(粟)蛋白质氨基酸组成的影响. 生态农业研究, 2000, 8(3): 32-35.
[26] 韩发, 贲桂发. 青藏高原不同海拔矮嵩草蛋白质、脂肪和淀粉含量的变异. 植物生态学报, 1997, 21(2): 97-104.
[27] 艾丹, 郭春华, 徐亚欧, 杨虎林, 黄艳玲, 严锦绣, 于婷婷. 四川阿坝县不同地区与不同海拔秋季牧草营养成分分析. 草业科学, 2011, 28(8): 1529-1532.
[28] 龚顺良, 周玉萍. 高寒山区海拔高度对不同生态类型玉米籽粒营养成分的影响. 贵州农业科学, 2005, 33(6): 35-37.
[29] 曾羽, 陈兴福, 张玉, 孟杰, 李瑶, 杨文钰. 不同海拔菊花氨基酸组分分析及营养价值评价. 食品与发酵工业, 2014, 40(4): 190-194.
[30] 孙丽华. 黄杨粗蛋白、氨基酸组分与脯氨酸等与其耐寒性的研究. 干旱区资源与环境, 2006, 20(6): 202-206.
[31] 刁品春. 花铃期土壤水分胁迫对棉花成铃的影响及其生理效应[D]. 南京: 南京农业大学, 2004.
[32] 周碧燕, 陈杰忠, 季作梁, 蔡永发. 香蕉越冬期间 SOD 活性和可溶性蛋白质含量的变化. 果树学报, 1999, 16(3): 192-196.
[33] 王丽雪, 李荣富, 张福仁. 葡萄枝条中蛋白质、过氧化物酶活性变化与抗寒性的关系. 内蒙古农牧学院学报, 1996, 17(1): 45-50.
[34] 高洪波, 李敬蕊, 章铁军, 宫彬彬, 李素玲. 甘氨酸和谷氨酸与钼配施对生菜品质的影响. 西北植物学报, 2010, 30(5): 968-973.
[35] 潘瑞炽. 植物生理学(第五版). 北京: 高等教育出版社, 2004:45-48.
[36] 邢廷杰, 王勇, 邓武军, 张美文, 李波, 朱俊霞. 蛋白质, 纤维素和单宁酸对东方田鼠摄食的影响. 生态学报, 2010, 30(4): 941-948.
[37] 赵小刚, 雒秋江, 余雄, 黄现青, 潘榕. 绵羊对 4 种蛋白饲料日粮蛋白质/氨基酸的消化与吸收. 新疆农业大学学报, 2004, 27(1): 1-8.
[38] 张庆, 漆正堂, 丁树哲. 亮氨酸及其代谢产物促进蛋白质合成的分子机制及其补充效果. 生命的化学, 2009, 29(1): 103-107.
[39] 王小生. 必需氨基酸对人体健康的影响. 中国食物与营养, 2005, 16(7): 48-49.
[40] Nolte D L, Provenza F D. Food preferences in lambs after exposure to flavors in milk. Applied Animal Behaviour Science, 1992, 32(4): 381-389.
[41] 周世强, 黄金燕, 张亚辉, 李仁贵, 李德生, 张和民. 野化培训大熊猫采食和人为砍伐对拐棍竹无性系种群更新的影响. 生态学报, 2009, 29(9): 4804-4814.
[42] 魏辅文, 周昂, 胡锦矗, 王维, 杨光. 马边大风顶自然保护区大熊猫对生境的选择. 兽类学报, 1996, 16(4): 241-245.
[43] 铁军, 张晶, 彭林鹏, 张志翔. 神农架川金丝猴冬春季节取食影响因素. 生态学杂志, 2011, 30(11): 2562-2569.
[44] 王文霞. 林麝食源植物的营养学特征及食物选择主导因子的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
[45] 黄乘明. 白头叶猴(*Presbytis leucocephalus*)对栖息地选择利用与觅食生物学[D]. 北京: 北京师范大学, 1998.
[46] Guo X S, Ding L M, Long R J, Qia B, Shang Z H, Wang Y P, Cheng X Y. Changes of chemical composition to high altitude results in *Kobresia littledalei* growing in alpine meadows with high feeding values for herbivores. Animal Feed Science and Technology, 2012, 173(3/4): 186-193.